

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2018.01.015

±1 100 kV 直流户内开关场设计研究

岳云峰, 简翔浩, 孔志达, 郭金川, 谭威
(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

摘要: 针对±1 100 kV 直流开关场户内设计方案展开论述, 提出了户内直流场设计原则、设计流程及方法, 对户内直流场设计的主要电气参数进行计算, 并给出计算结果。结合1 100 kV 设备特点进行户内设计, 给出了三种户内设计方案并进行了比较, 提出了汽车吊联合起吊方案。研究表明: 汽车吊联合起吊方案不仅可以节省一期设备和厂房建设投资, 还可以节省后期维护费用和时间。

关键词: ±1 100 kV 换流站; 户内直流场; g 参数法; 空气净距

中图分类号: TM721 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-8676(2018)01-0092-06

Research on Indoor Design of DC Switch Yard for 1 100 kV Converter Substation

YUE Yunfeng, JIAN Xianghao, KONG Zhida, GUO Jinchuan, TAN Wei

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: The design study of 1 100 kV DC switch yard for 1 100 kV converter substation was given in this paper. In this study, we proposed an indoor DC yard design principle, design processes and design methods. The main electrical parameters of the indoor DC yard were calculated and recommended results were shown. Three indoor designs and comparison were given considering 1 100 kV equipment characters, air clearance, installation and maintenance. It is proposed joint lifting work by double-crane can not only save investment on the construction of station and equipment, but also can save time and maintenance costs in the future.

Key words: 1 100 kV converter station; indoor design of DC yard; parameter g; air clearance

长距离、大容量、低损耗的特高压直流输电是我国电网发展的必然选择, 是实现我国能源资源优化配置的有效途径^[1-3]。±1 100 kV 是在±800 kV 直流技术基础上的又一次突破, 电压等级的提高对直流设备提出了更高的要求。目前关于1 100 kV 直流输电已经开展了大量的研究工作^[4-7], 当电压达到1 100 kV 时, 部分设备制造工艺无法满足户外设计要求, 则需要考虑直流开关场户内方案。直流开关场采用户内布置方案一方面可以降低对高压设备的耐污秽要求, 降低设备爬电比距离; 另一方面可以适当降低设备高度, 兼顾当前设备制造能力, 进而提高抗震性能; 户内布置还有利于噪声控制。此外, 厂房设计可以使直流场设备适应各种极端气

候, 有效保护设备不受高温、低温、潮湿或大风等影响, 并延长设备使用寿命。

户内设计方案会增加换流站的投资主要体现在: 大型工业厂房、户内检修设施、高压穿墙套管、占地面积等。本文针对1 100 kV 户内直流场设计展开研究, 提出直流场设计流程, 考虑设备适应性, 通过相应电气计算, 从安全性、经济性、适用性角度提出三种户内直流场的设计方案, 最大限度节省投资, 为准东—华东±1 100 kV 直流工程实施提供参考。

1 户内直流场设计概述

1.1 设计原则

参考准东—华东±1 100 kV 直流工程, 方案采用双极、每极双12脉动换流阀组串联接线, 每极

(550 kV +550 kV)电压组合。额定电流 5 455 A, 输送功率 12 GW。接线方式与典型的 ±800 kV 接线基本相同^[7], 其主要设计原则如下:

1)安全可靠、经济适用

户内开关场采用封闭运行模式, 设备布置满足电气距离要求、导体选型合理、满足抗震、防火等要求。户内布置设备主要针对 1 100 kV 母线设备, 其他电压等级采用户外布置, 减少建筑面积, 降低高度。

2)布局紧凑、结构简单

电气设备布置整齐、紧凑, 合理利用地上、地下空间位置。工艺布局简单, 建筑形状方正, 结构设计简单、受力合理。

3)环境优良、维护方便

厂房考虑微正压防尘防潮设计, 提高室内清洁度, 以降低室内污秽, 配置空调机、温湿度控制器。温度范围在 0~40 ℃, 湿度控制相对在 60%。考虑大型吊装机械的进入, 方便对每个设备的检修和维护。

1.2 设计流程及方法

户内直流场应在电气设计基础上, 协同考建筑、结构等设计, 综合运维的考虑, 主要包括: (1)电气设计: 直流设备特性研究、过电压绝缘配合方案研究、空气净距计算、导体选型及布置等形成初步布置方案; (2)结构设计: 大件运输、设备安装、运维方案、屋盖结构形式、受力分析; (3)其他设计: 建筑设计、消防设计、暖通计算、总图设计等。

各专业之间需要形成良好的反馈, 结构设计、建筑设计后电气重新对布置进行调整和修改, 通常形成多方案比对, 最终给出推荐方案。

2 户内直流场设备分析

直流场 1 100 kV 户内电气设备有: 穿墙套管、平波电抗器、旁路断路器、隔离/接地开关、RI 滤波器、直流电压、电流测量装置、避雷器、直流滤波器、支柱绝缘子等。现将关乎设备外绝缘的主要设备进行论述:

1)直流穿墙套管: 采用复合套管时, 目前生产能力可以达到 45 mm/kV。国外已有 1 100 kV 穿墙套管型式试验, 国内企业与国外公司合资的 1 100 kV 穿墙套管型式试验已完成, 直流穿墙套管

能满足工程户内和户外绝缘爬距的要求。1 100 kV 户内-户内极线穿墙套管长度可达 30 m, 户内-户外长度约 32 m。

2)支柱绝缘子: 由于采用常规瓷支柱绝缘子由于爬电比距要求大而高度过高, 其机械强度和生产工艺几乎无法实现^[8]。瓷涂耐污闪涂料和复合支柱绝缘子均是可行方案, 这种绝缘子有很好的机械和防污性能。国产某公司 1 100 kV 复合支柱绝缘子的长度为 15.275 m。

3)隔离开关: 用在 800 kV 换流站隔离开关目前主要有两种: 双柱折臂式和三柱水平旋转式, 采用三柱水平旋转式结构有更好的机械动作的稳定性, 双柱折臂式结构更加节省占地, 且已形成国产化成熟产品。考虑到本工程 1 100 kV 直流场采用户内设计方案, 采用双柱折臂式更加经济。

4)直流滤波器高压电容器: 可采用悬吊式或支撑式。本体高度约 24 m, 户内布置时可不考虑大风等因素考虑, 推荐采用支撑式结构单塔布置以降低高度。低压侧可采用两根 100 kV 直流穿墙套管与户外滤波器连接。

5)干式平波电抗器。1 100 kV 平波电抗器已完成研发, 有 3×50 mH 或 2×75 mH 两种配置方案, 50 mH 方案线圈体积稍小, 适用于交通运输限制地区。平波电抗器是直流场布置最大设备且需考虑吊装、散热等因素, 直接关系到建筑体量大小, 因此必须给予重点考虑。国内某公司 50 mH 平波电抗器线圈高度 4.3 m, 总高度 22 m, 重量 8.1 t, 外径 4.87 m, 采用户内布置后无需考虑防雨和降噪装置。

3 电气计算

3.1 1 100 kV 换流站过电压保护和绝缘配合

目前, 1 100 kV 科研单位已有换流站过电压与绝缘配合的初步研究成果^[9]。国内高校也有相应的仿真结论^[5,10]。参考以上研究结果, 1 100 kV 直流场额定操作冲击保护水平和额定雷电冲击保护水平 u_p 取 1 830 kV 和 2 100 kV。550 kV 直流场额定操作冲击保护水平和额定雷电冲击保护水平 u_p 取 1 195 kV 和 1 375 kV。

由于直流电压的静电吸尘作用、直流叠加过电压强度、谐波电压以及避雷器性能偏差等其他安全

因素的影响,换流站中交直流侧设备气隙的耐受电压要求要相应地提高,以避雷器的冲击保护水平为准,并考虑一定裕度系数。

3.2 空气净距计算

户内直流场空气净距的计算方法同阀厅空气净距计算相同,目前多选用 IEC 60061-1 明确提出了带外绝缘海拔修正的 g 参数法^[11-12]。

计算公式如式(1)所示:

$$u_{50} = \frac{K_1 u_p}{(1 - 2\sigma)K_q} \quad (1)$$

式中: u_{50} 为间隙的冲击电压波形下的 50% 的闪络电压; K_q 为气象修正系数; K_1 为裕度系数,现有工程一般取 1.15 ~ 1.25^[13]; u_p 为避雷器相应的过电压冲击保护水平; σ 为间隙的冲击放电电压变异系数,操作、雷电冲击放电电压变异系数分别取 6% 和 3%。

最小净空距离公式(2)、式(3)计算得到:

$$\text{操作冲击 } u_{50} = K_j \times 500 \times d^{0.6} \quad (2)$$

$$\text{雷电冲击 } u_{50} = K_j \times 540 \times d \quad (3)$$

式中: d 为最小空气净距; K_j 为表示电极形状特性的间隙系数,导线对板 K_j 取 1.15,导线对导线 K_j 取 1.3,棒对棒 K_j 选 1.4。式(1)中的气象修正系数 K_q 由式(4)得到:

$$K_q = \sigma^m \times K_x^w \quad (4)$$

式中: σ 为相对空气密度; K_x 为绝对湿度与相对空气密度共同确定的一个修正系数。 σ 和 K_x 按照式(5)、式(6)进行计算。

$$K_x = 1 + 0.014(h/\sigma - 11) \quad (5)$$

$$\sigma = (273 + t_0)P_a / (273 + t)P \quad (6)$$

式(5)中: h 为计算环境的绝对湿度; P_a 为环境气压; P 为标准大气压; t 为环境温度, t_0 为标准温度(20 °C)。参数 g 定义为:

$$g = \frac{u_{50}}{500dK_x\sigma} \quad (7)$$

式(6)中: u_{50} 和 d 的定义同式(2)和式(3)。式(4)中 m 和 w 是 g 的函数,通过 IEC 60061-1-2010 提供的 g 与 m 和 w 明确的分段函数表达式(如表 1 所示)确定 m 和 w 的值。最后,将所得值代入式(1)、式(2)和式(3),就可以计算出 u_{50} 以及 d 。

表 1 g 参数法中 m 和 w 与 g 的分段函数式

Tab. 1 Exponent m and w as a function of parameter g

g	m	w
<0.2	0	0
0.2~1	$g(g-0.2)/0.8$	$g(g-0.2)/0.8$
1.0~1.2	1	1
1.2~2.0	1	$(2.2-g)(2-g)/0.8$
>2.0	1	0

由式(7)和式(2)、式(3)经过迭代计算即可得到空气净距 d 。本文计算时考虑了户内直流场所有可能的温度 $T(0 \sim 60 \text{ °C})$ 和相对湿度 $R(5\% \sim 60\%)$ 组合,结果如图 1、图 2 所示。

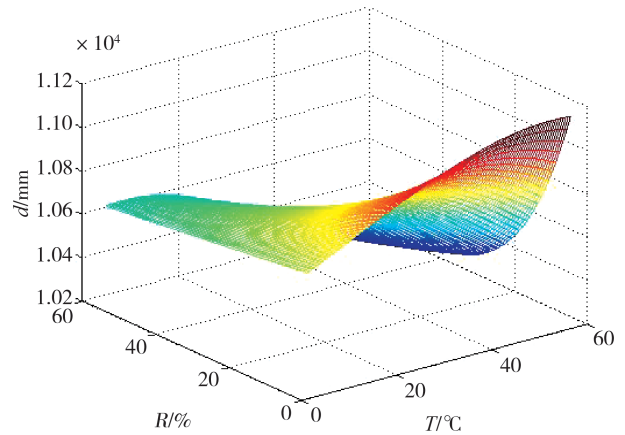


图 1 $K=1.15$, 110 kV 空气间隙随温度湿度变化曲线
Fig. 1 $K=1.15$, 110 kV the air clearance curve with the temperature and humidity

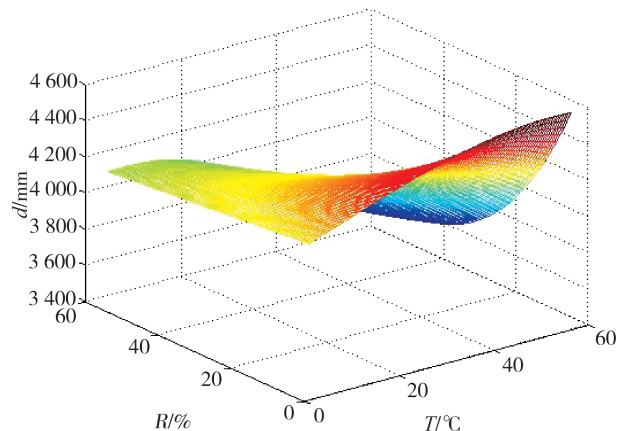


图 2 $K=1.15$ 550 kV 空气间隙随温度湿度变化曲线
Fig. 2 $K=1.15$ 550 kV the air clearance curve with the temperature and humidity

由计算结果可见, 温度在 $54.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 湿度在 5% 时空气净距计算值最大, 110 kV 空气净距为 11.2 m , 550 kV 空气净距为 4.6 m , 间隙系数 K_j 的取值会变大时, 空气净距计算值会变小。因此, 对于一般的间隙形状, 按 11.2 m 设计能够满足 110 kV 户内导体对地的要求。

3.3 管母线选型及高度设计

户内导体选型及高度的控制因素为导体电晕特性决定^[14-15]。直流导体起晕电场由皮克公式得到。

$$E_0 = 29.8 m\delta \left(1 + \frac{0.301}{\sqrt{\delta r}}\right) \quad (8)$$

式中: E_0 为导体起晕场强, kV/cm ; r 为导体半径, cm ; δ 为空气相对密度系数; m 为导体表面的粗糙系数。导体的最大表面场强由式(9)计算得到。

$$E_{\max} = \frac{2V}{d \ln(4H/d)} \quad (9)$$

式中: V 为导体电压, kV ; H 为导体对地高度, cm ; d 为管母线导线直径, cm 。

选取现有的管母线外径 350 mm 、 400 mm 、 450 mm 三种形式进行比较计算。首先, 通过式(8)计算得到三种导体表面起晕场强, 然后通过(9)计算在 E_{\max} 小于起晕场强的情况下四种导体的最小高度, 计算结果如图 3 所示, 不同管径的管母线在各种安装高度时的导体表面最大场强, 从结果可以看出, 导体选择 LDRE-400/380 或 LDRE-450/430, 安装高度在 16.5 m 以上均可以满足电晕要求。

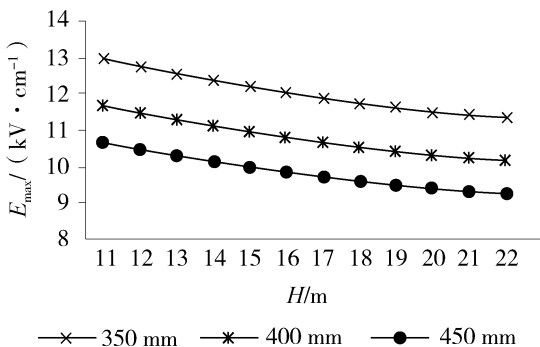


图3 $\phi 350$ 、 $\phi 400$ 及 $\phi 450$ 不同高度管母线表面最大场强

Fig. 3 E_{\max} of $\phi 350$, $\phi 400$, $\phi 450$ busbar at different height

由于 $\pm 110\text{ kV}$ 直流场操作过电压决定了设备外绝缘才长度, 户内直流场管母线高度等于管母线下设备最大长度与设备支架最低高度之和, 再考虑一定的金具安装空间。由于设备高度在 $15 \sim 15.5\text{ m}$

之间, 设备支架最低高度 2.5 m , 因此户内直流场管母线高度要求高于 18 m , 户内直流场导体机械条件校验可不需要考虑大风、覆冰等工况, LDRE-400/380 与 LDRE-450/430 管母线均满足要求, 考虑到 LDRE-400/380 更加经济, 且满足导体选型要求, 因此户内导体按 LDRE-400/380 考虑。

4 设计方案

4.1 设计方案

户内直流场采用单层厂房结构, 按照工艺流程对设备进行布局。采用支撑式管母线和支撑式滤波器电容器即有更好的稳定性, 又可降低建筑设计难度。设计按照所有 110 kV 直流场设备户内布置考虑, 主要电气设备数量基本相同, 因此投资差价主要是设备户内外型式不同引起总图、建筑、结构及其他设施的差价。

在满足安全条件下, 方案的经济型主要从以下三个方面考虑:

- 1) 结构上易于实现, 如减小建筑内场地的跨度, 建筑外形方正。
- 2) 建筑面积少, 体积小。由于 550 kV 和中性线设备占地面积较少, 对于 110 kV 换流站中, 户内直流场建筑长度直接决定了整个直流开关场的占地面积。
- 3) 建筑高度在满足安全距离的情况下尽可能低, 则结构上更经济, 容易实现。

根据考虑侧重点不同, 提出了三个方案。

方案一: 如图 4 所示, 极线设备采用线性布置, 三台平抗三角形布置, 110 kV 出线套管从厂房侧面引出, 利用厂房结构作为出线挂点, 减少厂房长度距离。由于 C1 电容器、平波电抗器是户内直流场最高设备, 采用基坑下沉布置, 且仅在重量最重的平波电抗器区域设置吊车, 其余部分不设置吊车, 这些措施可降低对厂房高度要求。考虑平波电抗器和 C1 本体高度、安全净距、吊车要求、基坑深度并考虑安全裕量得到厂房最终高度为 35 m 。方案一占地面积 $9.705 \times 10^3\text{ m}^2$, 直流场占地为: $6.57 \times 10^4\text{ m}^2$ 。

方案二: 如图 5 所示, 为了节省 110 kV 换流站直流场的占地面积, 尽量将户内直流场长度减小到最小。方案将连接出线侧套管的两个隔离开关垂直方向布置, 增大建筑宽度以减少长度, 这样将建

筑长度控制在 143 m，宽度增加到 70.5 m。为了降低大跨度结构上的造价，在出线隔离开关和 C1 电容器侧设一个过渡用结构柱，实现桥式吊车对平波电抗器的吊装。由于梁跨电容器塔，建筑物高度需提高到 37 m，户内直流场建筑面积 $9.186 \times 10^3 \text{ m}^2$ ，直流场总面积为： $6.22 \times 10^4 \text{ m}^2$ 。

方案三：如图 6 所示，在方案一基础上进行优化，精简了极线设备布置，平波电抗器采用单体下放。安装与检修考虑采用汽车联合吊方案，预留足够的吊车转弯空间。由于不考虑桥式吊车，结构高度可降低到 32 m，户内直流场建筑面积 $9.600 \times 10^3 \text{ m}^2$ ，直流场总面积为： $6.49 \times 10^4 \text{ m}^2$ 。

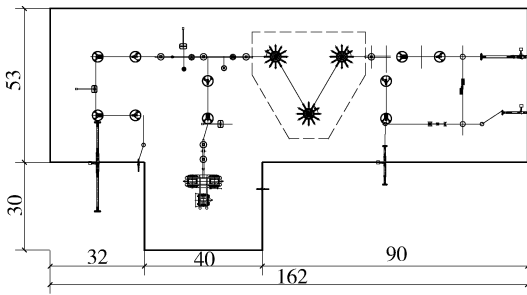


图 4 直流场户内布置方案一

Fig. 4 Option 1 of the indoor DC yard

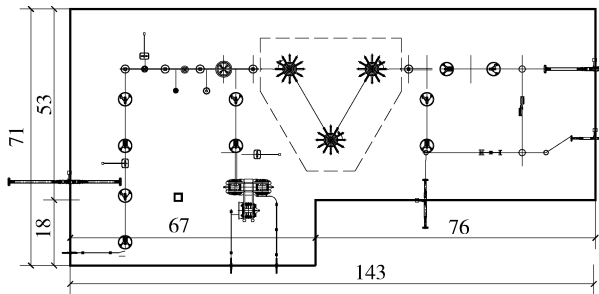


图 5 直流场户内布置方案二

Fig. 5 Option 2 of the indoor DC yard

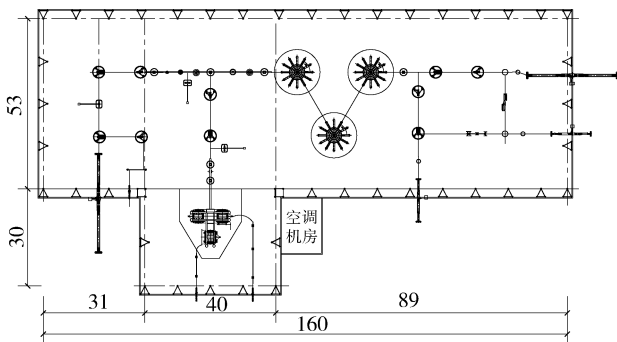


图 6 直流场户内布置方案三

Fig. 6 Option 3 of the indoor DC yard

4.2 方案的比较

各方案建筑及占地指标比较如表 2 所示。从表 2 中可以得出，方案三结构高度最低，结构难度和建筑面积最小，直流场总面积增加相对不多。方案二在建筑面积和总占地指标上最好但结构上代价较大，跨距达到 70 m 以上，结构设计投资会大幅度增加。

表 2 各方案各项指标比较

Tab. 2 Comparison of the indicators of the layouts

指标参数	建筑高度/m	建筑面积/ m^2	总面积/ha
方案 1	35	9.705×10^3	6.57
方案 2	37	9.186×10^3	6.22
方案 3	33	9.600×10^3	6.49

干式平波电抗器吊装目前有三种方案：桥式吊车，龙门吊和汽车吊三种方案。

桥式吊车：安装和检修使用方便，维护范围大，但结构设计难度大，一次投资大。

龙门吊车：结构难度小，需增加轨道，但维护范围小，一次投资大，需要增加吊车的吊装轨道，因此占地面积大。

汽车吊：维护量小，一次投资小，结构上易于实现，节省占地，结构高度低，但施工需两台吊车联合起吊，如图 7 所示，操作难度较大。

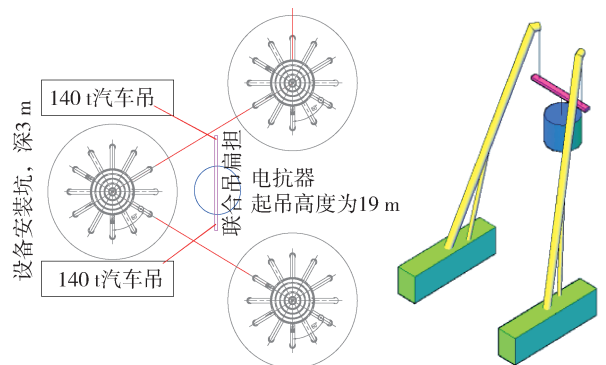


图 7 汽车吊联合吊装方案示意图

Fig. 7 Joint lifting work by double-crane

三种吊装方案各有优缺点，由于平抗的吊装特点是一次吊装到位，再次吊装和更换概率极低的特点，推荐汽车吊相对更加经济适用，桥式或龙门吊车一次投资和后期维护费用较高且特种设备定期检查，这需要站内停电检修时间相配合，采用汽车联合起吊方案降低了固定资产的投资，与吊装公司签订联合维护协议则吊车使用更加及时也省去维护

费用。

以上方案均可在工程实际中实施,各有优缺点。但综合考虑,从工程适用性考虑方案三指标更优。

5 结论

针对1100 kV 户内直流场设计展开研究,主要结论如下:(1)1100 kV 直流场户内设计方案可降低设备制造难度,适应各种极端气候,从降低设备高度提高抗震性能、电磁环境和噪音治理等方面都有很好改善;(2)户内直流场空气净距计算可采用g参数法,通过对户内各种温湿度组合的工况计算得最小空气净距按照11.2 m考虑;(3)提出直流场设计流程,考虑设备特性,从安全性、经济性、适用性角度提出三种户内直流场设计方案,推荐采用汽车联合起吊方案可最大限度节省投资,设计方案为1100 kV 换流站工程实施提供参考。

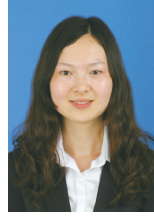
参考文献:

- [1] 温家良,吴锐,彭畅,等. 直流电网在中国的应用前景分析[J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(13): 7-12.
WEN J L, WU R, PENG C, et al. Analysis of DC grid prospects in China [J]. Proceedings of the CSEE, 2012, 32(13): 7-12.
- [2] 张文亮,于永清,李光范,等. 特高压直流技术研究[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(22): 1-7.
ZHANG W L, YU Y Q, LI G F, et al. Researches on UHVDC technology [J]. Proceedings of the CSEE, 2007, 27(22): 1-7.
- [3] 舒印彪,张文亮. 特高压输电若干关键技术研究[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(31): 1-6.
SHU Y B, ZHANG W L. Research of key technologies for UHV transmission [J]. Proceedings of the CSEE, 2007, 27(31): 1-6.
- [4] 张文亮,周孝信,郭剑波,等. ± 1000 kV 特高压直流在我国电网应用的可行性研究[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(28): 1-5.
ZHANG W L, ZHOU X X, GUO J B, et al. Feasibility of ± 1000 kV ultra HVDC in the power grid of china [J]. Proceedings of the CSEE, 2007, 27(28): 1-5.
- [5] 周浩,王东举. ± 1100 kV 特高压直流换流站过电压保护和绝缘配合[J]. 电网技术, 2012, 36(9): 1-8.
ZHOU H, WANG D J. Overvoltage protection and insulation coordination for ± 1100 kV UHVDC converter station [J]. Power System Technology, 2012, 36(9): 1-8.
- [6] 姬大潜,刘泽洪,张进,等. ± 1100 kV 特高压直流输电换流站内深度限制过电压水平研究[J]. 电网技术, 2012, 36(10): 55-60.
JI D Q, LIU Z H, ZHANG J, et al. Research on overvoltage limitation inside ± 1100 kV UHVDC converter station [J]. Power System Technology, 2012, 36(10): 55-60.
- [7] 郭焕,曹均正,汤广福,等. ± 1100 kV 特高压直流换流系统主电路优化设计[J]. 电网技术, 2013, 37(9): 23-83+89.
GUO H, CAO J Z, TANG G F, et al. Optimization design of main circuit of converter system for ± 1100 kV UHVDC transmission system [J]. Power System Technology, 2013, 37(9): 23-83+89.
- [8] 刘泽洪,高理迎,郭贤珊,等. ± 1100 kV 特高压直流支柱绝缘子关键技术[J]. 电力建设, 2012, 33(11): 66-69.
LIU Z H, GAO L Y, GUO X S, et al. Key technology of post insulator for ± 1100 kV UHVDC [J]. Electric Power Construction, 2012, 33(11): 66-69.
- [9] 聂定珍,马为民,余世峰,等. ± 1000 kV/ ± 1100 kV 特高压直流输电系统换流站的绝缘配合[J]. 高电压技术, 2012, 38(12): 3156-3160.
NIE D Z, MA W M, YU S F, et al. Insulation coordination of ± 1000 kV/ ± 1100 kV UHVDC converter stations [J]. High Voltage Engineering, 2012, 38(12): 3156-3160.
- [10] 陈锡磊,周浩,王东举,等. ± 1100 kV 特高压直流换流站绝缘配合关键问题研究[J]. 高电压技术, 2013, 39(12): 3015-3020.
CHEN X L, ZHOU H, WANG D J, et al. Research on key issue of insulation coordination for ± 1100 kV UHVDC converter stations [J]. High Voltage Engineering, 2013, 39(12): 3015-3020.
- [11] 中华人民共和国国家能源局. ± 800 kV 高压直流输电系统成套设计规程: DL/T 5426—2009[S]. 北京: 中国电力出版社出版, 2009.
China National Energy Administration. System design and standard for ± 800 kV HVDC system; DL/T 5426—2009[S]. Beijing: China Electrical Power Press, 2009.
- [12] 郭金川,周敏,孔志达,等. 柔性直流换流站空气净距研究[J]. 南方能源建设, 2015, 2(增刊1): 51-55.
GUO J C, ZHOU M, KONG Z D, et al. Study on air clearance of voltage source converter station [J]. Southern Energy Construction, 2015, 2(Supp. 1): 51-55.
- [13] IEC/TC 42. High-voltage test techniques, part 1: general definitions and test requirements; IEC 60060-1-1989[S]. [s. l.: s. n.], 1989.
- [14] 岳云峰,彭冠炎,王燕. ± 800 kV 换流站管母线合成场强特性研究[J]. 中国电力, 2013, 46(11): 26-29+51.
YUE Y F, PENG G Y, WANG Y. Research on electric field characteristics of busbar in HVDC converter substation [J]. Electric Power, 2013, 46(11): 26-29+51.

- 南: 山东大学, 2013.
- [7] 林秀丽, 汤大钢, 丁焰, 等. 中国机动车行驶里程分布规律 [J]. 环境科学研究, 2009, 22(3): 377-340.
LIN X L, TANG D G, DING Y, et al. Study on the distribution of vehicle mileage traveled in China [J]. Research of Environmental Science, 2009, 22(3): 377-340.
- [8] 贾东明. 规模化电动汽车充电对配电网的影响及有序充电研究 [D]. 北京: 华北电力大学, 2015.
- [9] 郭毅, 胡泽春, 张洪财, 等. 居民区配电网接纳电动汽车充电能力的统计评估方法 [J]. 电网技术, 2015, 39(9): 2458-2464.
GUO Y, HU Z C, ZHANG H C, et al. A statistical method to evaluate the capability of residential distribution network for accommodating electric vehicle charging load [J]. Power System Technology, 2015, 39(9): 2458-2464.
- [10] 中国南方电网公司. 中国南方电网公司 10 kV 及以下业扩受电工程技术导则 [EB/OL] (2014-04-30). [2017-10-10]. <http://www.csg.cn>.
- [11] 陈俊. 电动汽车充电负荷特性及配电网承载能力研究 [D]. 北京: 华北电力大学, 2016.
- [12] 王海吉. 电网企业在电动汽车充电设施产业链的竞争分析 [J]. 南方能源建设, 2016, 3(2): 27-31.
WANG H J. Competitive advantage analysis of power grid enterprise on the industrial chain of electric vehicle charging infra-

structure [J]. Southern Energy Construction, 2016, 3(2): 27-31.

作者简介:



CHEN L

陈雷

1989-, 女, 江西吉安人, 工程师, 硕士, 主要从事电力系统规划、电力系统新技术等研究工作 (e-mail) chenlei4@gedi.com.cn。



LU S Y

卢斯煜

1986-, 男, 广东潮州人, 工程师, 博士, 主要从事电力系统规划与可靠性、新能源发电等研究工作 (e-mail) lusy@csq.cn。

(责任编辑 高春萌)

(下接第 97 页 Continued from Page 97)

- [15] 姚斌, 施世鸿, 陈荔. ± 1100 kV 特高压直流换流站直流场导体的电磁计算与设计选型 [J]. 南方能源建设, 2016, 3(4): 37-41.
YAO B, SHI S H, CHEN L. Electromagnetic environment calculation and design of ± 1100 kV DC conductor in UHVDC converter station [J]. Southern Energy Construction, 2016, 3(4): 37-41.



KONG Z D

孔志达

1977-, 男, 广东广州人, 高级工程师, 硕士, 长期从事变电站、换流站设计、研究等工作 (e-mail) kongzhida@gedi.com.cn。

作者简介:



YUE Y F

岳云峰

1982-, 男, 吉林吉林人, 工程师, 硕士, 长期从事特高压变电站、换流站设计等工作 (e-mail) yueyunfeng@gedi.com.cn。



JIAN X H

简翔浩

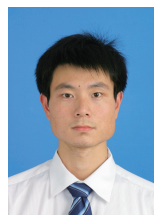
1975-, 男, 广东肇庆人, 高级工程师, 硕士, 长期从事特高压变电站、换流站设计等工作 (e-mail) jianxianghao@gedi.com.cn。



GUO J C

郭金川

1984-, 女, 河南平顶山人, 工程师, 硕士, 长期从事变电站、换流站设计、研究等工作 (e-mail) guojinchuan@gedi.com.cn。



TAN W

谭威

1987-, 男, 湖北英山人, 工程师, 硕士, 长期从事变电站、换流站设计、共用接地的研究等工作 (e-mail) tanwei@gedi.com.cn。

(责任编辑 高春萌)